

สารบัญ

คำนำ		
สารบัญ		หน้า
บทที่ 1 บทนำ		1
บทที่ 2 ตัวดำเนินการ		5
2.1 ความหมายของตัวดำเนินการ		5
2.2 ตัวดำเนินการเชิงเส้น		6
2.3 สมการไอเกน		8
2.4 ตัวดำเนินการเฮร์มิเชียน		10
2.5 ความสัมพันธ์สลับที่		15
แบบฝึกหัด		18
บทที่ 3 พหุคูณเลขของกลศาสตร์ควอนตัม		19
3.1 ฟังก์ชันคลื่น		19
3.2 ปริมาณฟิสิกส์และการวัด		22
3.3 กฎความสัมพันธ์สลับที่พื้นฐาน		27
3.4 สมการชเรอดิงเงอร์		29
3.5 หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก		31
แบบฝึกหัด		32
บทที่ 4 ปัญหาใน 1 มิติ (ตอนที่ 1 : สถานะถูกกักขัง)		35
4.1 บ่อศักย์อนันต์		35
4.2 บ่อศักย์ลึกจำกัด		42
4.3 ฮาร์มอนิกออสซิลเลเตอร์		51
แบบฝึกหัด		57
บทที่ 5 ปัญหาใน 1 มิติ (ตอนที่ 2 : สถานะไม่ถูกกักขัง)		59
5.1 อนุภาคอิสระ		59
5.2 กระแสความหนาแน่น		63

5.3	สัคย์เป็นชั้น	65
5.4	กำแพงสัคย์	68
5.5	ผลการแปลงฟูเรียร์	71
	แบบฝึกหัด	78
บทที่ 6	ปัญหาใน 3 มิติ	81
6.1	กล่องสัคย์อนันต์	81
6.2	ฮาร์มอนิกออสซิลเลเตอร์	84
6.3	โมเมนตัมเชิงมุม	87
6.4	สัคย์ศูนย์กลาง	94
6.5	สัคย์ทรงกลมอนันต์	95
6.6	สัคย์ทรงกลมหนาจำกัด	99
	แบบฝึกหัด	105
บทที่ 7	อะตอมไฮโดรเจน	107
7.1	กรอบศูนย์กลางมวล	107
7.2	สถานะของอิเล็กตรอน	110
7.3	สปินของอิเล็กตรอน	119
	แบบฝึกหัด	124
บทที่ 8	กลศาสตร์เมทริกซ์	127
8.1	เวกเตอร์สถานะ	127
8.2	ตัวดำเนินการ	129
8.3	สมการไอเกน	130
8.4	ตัวดำเนินการเฮร์มิเชียน	131
8.5	ฮาร์มอนิกออสซิลเลเตอร์	133
8.6	โมเมนตัมเชิงมุม	145
8.7	ค่าเฉลี่ย	153
8.8	การรวมโมเมนตัมเชิงมุม	156
	แบบฝึกหัด	162

บทที่ 9 เพอร์เทอร์เบชันแบบไม่ขึ้นกับเวลา	163
9.1 ทฤษฎีเพอร์เทอร์เบชัน	163
9.2 อันตรกิริยาสปิน-ออร์บิต	172
9.3 ปราคฏการณ์ซีแมนแบบวีปริต	180
แบบฝึกหัด	188
บทที่ 10 เพอร์เทอร์เบชันแบบขึ้นกับเวลา	191
10.1 สมการชเรอดิงเงอร์แบบขึ้นกับเวลา	191
10.2 ความสะดวกความหนาแน่น	194
10.3 สมการการเคลื่อนที่	197
10.4 เพอร์เทอร์เบชันแบบขึ้นกับเวลา	200
10.5 เพอร์เทอร์เบชันแบบเป็นคาบ	203
10.6 การเปลี่ยนสถานะแบบไดโพล	209
10.7 กฎการเลือก	210
แบบฝึกหัด	213
บทที่ 11 ระบบที่มีอนุภาคหลายตัว	215
11.1 อนุภาคเหมือนกันทุกประการ	215
11.2 อะตอมที่มีอิเล็กตรอนหลายตัว	225
11.3 โครงสร้างอะตอม	229
11.4 แบบจำลองเป็นวงของนิวเคลียส	234
แบบฝึกหัด	239
คำตอบโจทย์แบบฝึกหัด	241
ภาคผนวก	248
บรรณานุกรม	251
ดัชนี	253



12 มี.ย. 56

นรา จิรภัทรพิมล

กลศาสตร์ควอนตัม / นรา จิรภัทรพิมล

1. ทฤษฎีควอนตัม

530.12

ISBN. 978-974-03-2733-2

สปจ. 1472

เลขหมู่ 530.12
 № 231
 2553
 เลขทะเบียน 19987
 วันที่ 12/ส.ย. 2556

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE
 สำนักหอสมุดฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ



1110015346



สสสศูนย์วิชาการ ศูนย์รวม
 www.ChulaPress.com
 Knowledge to All

114949

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2553

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้นต้องได้รับ
 อนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นเรศวร จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

จัตุรัสจามจुरี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5300-1 โทรสาร 0-2160-5304

CALL CENTER โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

เครือข่าย

ศูนย์หนังสือ ม.วลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช โทร. 0-7567-3648-51 โทรสาร 0-7567-3652

ศูนย์หนังสือ ม.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย โทร. 0-5391-7020-4 โทรสาร 0-5391-7025

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเชียงราย จ.เชียงราย โทร. 0-5377-6000

ร้านหนังสือบัณฑิตยสถาน (สิงห์ สิงหเสนี) रामคำแหง 43/1 โทร. 0-2538-2573

โทรสาร 0-2539-7091

ร้านค้า, หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สยามสแควร์ ชั้น 14 โทร. 0-2218-9889-90

โทรสาร 0-2254-9495

กองบรรณาธิการ : รวีวรรณ จันทรมั่น

พิสูจน์อักษร : จุฑามาศ ดั่งจิตพิชัย

ออกแบบปก : MonyArt

ออกแบบรูปเล่ม : รศ.ดร.นรา จิรภัทรพิมล

พิมพ์ที่ : บริษัทเอกทีพี พรินท์ จำกัด โทร. 0-2216-9122-4 โทรสาร 0-2214-0038

12

ดรรชนี

ก

กฎการเลือก	selection rule	183, 185, 203, 210
กฎของบิโอต์-ซาวาร์ต	Biot-Savart law	173
กฎคงตัว		198
กฎความสัมพันธ์สลับที่พื้นฐาน	basic commutation	27, 76, 133
กรอบศูนย์กลางมวล		102, 107, 110
กระแสความหนาแน่น	current density	63, 194-196
กลศาสตร์เมทริกซ์	matrix mechanics	3, 127
กลศาสตร์คลื่น	wave mechanics	2
กล่องศักย์อนันต์	infinite box	81
การดูดกลืนแบบถูกกระตุ้น	stimulated absorption	204
การประมาณแบบเชลฟ์	self consistent approximation	
คอนซิสแทนต์		226
การประมาณแบบสนามศูนย์กลาง	central field approximation	226
การประมาณแบบอนุภาคอิสระ	independent particle	
approximation		223, 226, 235
การปล่อยแบบถูกกระตุ้น	stimulated emission	204
การเปลี่ยนสถานะแบบไดโพล	dipole transition	209
การแผ่รังสีของวัตถุดำ	blackbody radiation	1
การรวมโมเมนตัมเชิงมุม		156
กำแพงศักย์	potential barrier	68, 70

ค

ความหนาแน่นของความน่าจะเป็น	probability density	20
ความหนาแน่นของความน่าจะเป็นเชิงรัศมี	radial probability density	118
ความสัมพันธ์สลับที่	commutation	15, 133, 145
คอมปีตัน	Compton	2
ค่าเฉลี่ย	expectation value	24, 39, 153
ค่าไอเกน	eigenvalue	8
โครงสร้างอิเล็กตรอน	electron configuration	229-230
โครงสร้างละเอียด	fine structure	178

จ

จีแฟกเตอร์ของเลนเด	Lande' g factor	183
--------------------	-----------------	-----

ช

ชโรดิงเงอร์	Schrödinger	2
-------------	-------------	---

ซ

ซิงเกิลต	singlet	222
ซีแมน	Zeeman	186
เซตสมบูรณ์	complete set	23, 153

ด

ดิแรก	Dirac	123, 127
ดิวเทอรอน	deuteron	101-102
เดวิสสันและเจอร์เมอร์	Davisson and Germer	2
เดลตาของโครเนกเกอร์	Kronecker delta	13
เดอบรอยล์	de Broglie	2, 20
ไดโพล	dipole	209

ด

ตัวดำเนินการ	operator	5, 129
ตัวดำเนินการเชิงเส้น	linear operator	6
ตัวดำเนินการพลังงาน	energy operator	9, 22
ตัวดำเนินการพาริตี	parity operator	44
ตัวดำเนินการย้อนกลับ	invert operator	18, 182
ตัวดำเนินการสลับที่	exchange operator	219
ตัวดำเนินการสปิน	spin operator	152
ตัวดำเนินการเฮอร์มิเชียน	hermitian operator	10, 23, 131
ตำแหน่ง		
ตัวดำเนินการ		27-28, 76
ฟังก์ชันไอเกน		75

ท

ทริเปต	triplet	222
ทฤษฎีของเกาส์	Gauss theorem	195
โทมัสแฟกเตอร์	Thomas factor	174

น

นอร์มัลไลเซชัน	normalization	21, 38
นิวตัน	Newton	3

บ

บ่อศักย์ลึกจำกัด	finite well	42
บ่อศักย์อนันต์	infinite well	35
บอร์น	Born	20
บอห์ร	Bohr	1, 113
บอห์รแมกนีตรอน	Bohr magnetron	123
แบบจำลองเป็นวงของนิวเคลียส	nuclear shell model	234
โบซอน	boson	218

ป

ปรากฏการณ์ซีแมน	Zeeman effect	121, 184-186
ปรากฏการณ์ซีแมนแบบวิปริต	anomalous Zeeman effect	180, 184
ปรากฏการณ์ทันเนลลิง	tunneling effect	70
ปรากฏการณ์พาสเชน-แบก	Paschen-Back effect	186
ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก	photoelectric effect	1
ปริพันธ์ทับซ้อน	overlap integral	32
ปริภูมิโคออร์ดิเนต	coordinate space	76-77
ปริภูมิโมเมนตัม	momentum space	76-77
ปริภูมิฮิลเบิร์ต	Hilbert space	12
ปัญหาสองวัตถุ	two-body problem	107
โปรตอน, นิวตรอน	proton, neutron	101-102, 234-237

ผ

ผลการแปลงฟูเรียร์	Fourier transforms	71, 73
-------------------	--------------------	--------

พ

พลังงานยึดเหนี่ยว	binding energy	50, 101
พอลิโนเมียลลาแกร์เชิงสังสรรค์	associated Laguerre polynomials	114, 177, 227
พอลิโนเมียลเลอชองด์ร์เชิงสังสรรค์	associated Legendre polynomials	91, 211
พอลิโนเมียลเฮอไรไมต์	Hermite polynomials	54
เพอร์เทอร์เบชัน	perturbation	163
เพอร์เทอร์เบชันแบบขึ้นกับเวลา	time dependent perturbation	191, 201
เพอร์เทอร์เบชันแบบเป็นคาบ	harmonic perturbation	203
เพอร์เทอร์เบชันแบบไม่ขึ้นกับเวลา	time independent perturbation	163
พลังค์	Planck	1
โพซิตรอน, โพซิตรเนียม	positron, positronium	124

ฟ

ฟลักซ์ของอนุภาค	particle flux	195
ฟังก์ชันคลื่นของอนุภาคตัวเดียว	single particle wavefunction	225-226
ฟังก์ชันคลื่นนอร์มัลไลซ์	normalized eigenfunction	21
ฟังก์ชันคี่ ฟังก์ชันคู่	odd function, even function	45-46
ฟังก์ชันเดลตาของดิแรก	Dirac delta function	61-62, 208
ฟังก์ชันเบสเซลทรงกลม	spherical Bessel function	95-97
ฟังก์ชันปฏิสมมาตร	antisymmetric	
	wavefunction	217-218
ฟังก์ชันสมมาตร	symmetric wavefunction	217-218
ฟังก์ชันไอเกน	eigenfunction	8
ฟังก์ชันฮาร์มอนิกทรงกลม	spherical harmonics	90-91, 211
เฟอร์มิออน	fermion	218
โฟตอน	photon	1-2, 31

ภ

ภาวะคู่กันของคลื่น-อนุภาค	wave-particle duality	2
---------------------------	-----------------------	---

ม

มวลลดทอน		102, 109
เมทริกซ์แถวตั้ง	column matrix	127
เมทริกซ์แถวนอน	row matrix	127
เมทริกซ์ทแยงมุม	diagonal matrix	137
เมทริกซ์เพาลี	Pauli matrices	152
โมเมนต์แม่เหล็ก	magnetic moment	119-120, 122, 174
โมเมนต์		
ตัวดำเนินการ		9, 22, 27-29, 76
ฟังก์ชันไอเกน		60

โมเมนตัมเชิงมุม

ตัวดำเนินการ		30, 87-89
ฟังก์ชันไอเกน		91
โมเมนตัมเชิงมุมของการโคจร	orbital angular momentum	121
ไมเออร์และเจนเซน	Meyer and Jensen	237
ร		
รัสเซล-ซอนเดอร์คัปปลิง	Russel-Saunders coupling	232
รัทเทอร์ฟอร์ด	Rutherford	1
รัศมีบอห์ร	Bohr radius	115
แรงนิวเคลียร์		101, 234
ล		
ลากรานจ์	Lagrange	3
เลขควอนตัม	quantum number	10, 37, 83, 91
เลขควอนตัมแม่เหล็ก	magnetic quantum number	10, 91, 122, 228
เลขควอนตัมรวม	total quantum number	85
เลขควอนตัมรัศมี	radial quantum number	94, 113
เลขควอนตัมสปิน	spin quantum number	121, 228
เลขควอนตัมหลัก	principal quantum number	113, 122, 227-228
เลขควอนตัมออร์บิทัล	orbital quantum number	91, 121, 227-228
เลขเมจิก	magic number	235-237
ว		
วง วงย่อย	shell, subshell	227-228, 236-237
เวกเตอร์เคต	ket vector	127
เวกเตอร์ฐาน	basis vectors	137
เวกเตอร์บรา	bra vector	127
เวกเตอร์สถานะ	state vector	127
เวกเตอร์ไอเกน	eigenvector	130

ศ

ศักย์ทรงกลมหน้าจำกัด	finite sphere	99, 101-102, 235
ศักย์ทรงกลมอนันต์	infinite sphere	95, 235
ศักย์เป็นขั้น	step potential	65, 67
ศักย์วูดส์-เซกสัน	Woods-Saxon potential	235-236
ศักย์ศูนย์กลาง	central potential	94, 110, 198, 226
ศักย์ส่วนที่เหลือ	residue potential	231

ส

สถานะดีเจนเนอเรต, ดีเจนเนอเรซี	degenerate state, degeneracy	83, 85
สมการการเคลื่อนที่		197
สมการไอเกน	eigenvalue equation	8, 23, 130
สปิน	spin	121
สปิน-ออร์บิต	spin-orbit	172, 174
สปินแองกูลาโมเมนตัม	spin angular momentum	121
สัญลักษณ์ของดิแรก	Dirac notation	127, 131
สัญลักษณ์สเปกโทรสโกปี	spectroscopic notation	179, 227
สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน	transmission coefficients	65
สัมประสิทธิ์การสะท้อน	reflection coefficients	65

ท

หน่วยเกาส์	gaussian unit	107, 173
หลักการกีดกันเพาลี	Pauli exclusion principle	218, 224, 228
หลักความไม่แน่นอน	uncertainty principle	3, 30-31, 39, 207

	อ	
อนุภาคเหมือนกันทุกประการ	identical particles	215
อนุภาคอิสระ		59
ออร์โทกอนแนลเซต	orthogonal set	12
ออร์โธนอร์มัลเซต	orthonormal set	13
อะตอมไฮโดรเจน		107
อัตราการเปลี่ยนสถานะ	transition rate	208
อันตรกิริยาสปิน-ออร์บิตผกผันที่รุนแรง	strong inverted spin-orbit interaction	237
อิเล็กตรอนจีแฟกเตอร์	electron g-factor	123
อิเล็กตรอนเวเลนซ์	valence electron	231
อุเลนเบกและเกาด์สมิต	Ulenbeck and Goudsmit	121
แอนฮาร์โมนิกออสซิลเลเตอร์	anharmonic oscillator	85
แอลเอสคัปปลิง	LS coupling	232
ไอโซโทปชิฟต์	isotopic shift	124
ไอน์สไตน์	Einstein	1
	ฮ	
ฮามิลตัน	Hamilton	3
ฮาร์ตรี	Hartree	226
ฮาร์โมนิกทรงกลม	spherical harmonic	90-91
ฮาร์โมนิกออสซิลเลเตอร์	harmonic oscillator	51, 84, 133
ไฮเซนเบิร์ก	Heisenberg	3, 5, 30-31

นรา จิรภัทรพิมล

ขอ
12 มี.พ. 56

กลศาสตร์ควอนตัม / นรา จิรภัทรพิมล

1. ทฤษฎีควอนตัม

530.12

ISBN, 978-974-03-2733-2

สพจ. 1472



สรรคุณคำวิชาการ ผู้สัจคม
www.ChulaPress.com
Knowledge to All

530.12
เลขหมู่ น 231
2553
เลขทะเบียน 19987
วันที่ 12/ส.พ. 2556

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE
สำนักหอสมุดฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ



1110015346

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2553

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้นต้องได้รับ
อนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นเรศวร จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5300-1 โทรสาร 0-2160-5304

CALL CENTER โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

เครือข่าย ศูนย์หนังสือ ม.วลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช โทร. 0-7567-3648-51 โทรสาร 0-7567-3652

ศูนย์หนังสือ ม.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย โทร. 0-5391-7020-4 โทรสาร 0-5391-7025

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเชียงราย จ.เชียงราย โทร. 0-5377-6000

ร้านหนังสือดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) รามคำแหง 43/1 โทร. 0-2538-2573

โทรสาร 0-2539-7091

ร้านค้า, หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สยามสแควร์ ชั้น 14 โทร. 0-2218-9889-90

โทรสาร 0-2254-9495

กองบรรณาธิการ : รวิวรรณ จันทร์แมน

พิสูจน์อักษร : จุฬามาศ ตั้งจิตทวีชัย

ออกแบบปก : MonyArt

ออกแบบรูปเล่ม : รศ. ดร.นรา จิรภัทรพิมล

พิมพ์ที่ : บริษัทแอคทีฟพรินท์ จำกัด โทร. 0-2216-9122-4 โทรสาร 0-2214-0038

128

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี